Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 6 (1970)

Artikel: Effet du fluage et du retrait dans les constructions en béton partiellement précontraint

Autor: Chaikes, S.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-7787

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Effet du fluage et du retrait dans les constructions en béton partiellement précontraint

Auswirkung der Kriech- und Schwinderscheinungen in Bauten aus teilweise vorgespanntem Beton

Effect of Creep and Shrinkage in Partially Prestressed Concrete Structures

S. CHAIKES
Ingénieur-Conseil A.I.G.
Directeur du Bureau d'Etudes PRECO
Belgique

I. INTRODUCTION

Les pièces en béton précontraint intégral subissent à l'état permanent de fortes contraintes de compression, surtout dans les sections à grand rendement, ce qui entraine un fluage considérable et des déformations différées souvent indésirables. Dans bien des cas, celles-ci nuisent à l'aspect, provoquent des contre-flèches inégales dans les éléments juxtaposés et créent des perturbations dans les liaisons, de nature à entraver le développement du béton précontraint dans le bâtiment.

Ces fortes contraintes de compression présentent en outre un danger latent de microfissuration possible du béton lors de la précontrainte, pouvant entrainer dans les pièces ainsi affaiblies des contraintes de traction non négligeables, voire même une fissuration sous charges totales.

Dans d'autres cas, la fissuration de ce matériau, en principe non armé, par le retrait ou par le gradient thermique durant le durcissement et autres effets atmosphériques ou purement accidentels, comme un tassement d'appui avant la précontrainte, font en sorte que sous charges les fissures risquent de s'ouvrir pour un léger dépassement de ces charges si les pertes de précontrainte ou le frottement des câbles dépassent les prévisions du calcul.

La précontrainte partielle permet de remédier à cette situation. En effet, la précontrainte réduite atténue dans les proportions désirées la valeur du fluage et de la déformation différée, et l'armature ordinaire améliore les propriétés d'allongement du béton tant avant la précontrainte que sous charges et permet de résister aux effets atmosphériques et autres effets imprévisibles.

Ce dernier avantage diminue cependant en cas de forte concentration de l'armature ordinaire. En effet, celle-ci perturbe l'évolution du retrait d'abord et du fluage dû à la précontrainte ensuite. Le raccourcissement par le retrait moindre se solde par une contrainte de traction dans le béton tandis que le raccourcissement

par le fluage également moindre, se solde par une diminution de la compression du béton.

Il est donc essentiel de connaître avec une précision suffisante l'influence directe exercée par les deux armatures, de précontrainte et ordinaire, sur l'évolution du fluage et du retrait des pièces en béton partiellement précontraint pour pouvoir rendre cette solution intéressante par une utilisation équilibrée des deux armatures.

Dans cette communication, nous nous attacherons d'abord à évaluer les effets du fluage et du retrait en fonction des deux armatures pour tout le champ compris entre le béton précontraint intégral et le béton armé classique. Des formules pratiques permettront un calcul de ces effets d'après la compression induite dans les deux armatures.

L'intervention de ces effets dans la perte globale de précontrainte à la longue sera ainsi déterminée.

Ce calcul nous permettra ensuite de déterminer la zone du rendement optimum de la précontrainte, zone où les avantages procurés par l'armature ordinaire à concentration modérée sont prépondérants.

Ce faisant, nous aborderons le champ de la version dite "béton précontraint armé", procédé utilisé notamment pour de nombreux ouvrages d'art construits en Belgique. Conception de synthèse de la précontrainte et de l'armature, cette solution répond aux critères généraux de la Classe II du béton partiellement précontraint définis par le Comité Mixte F.I.P. - C.E.B.

Une comparaison des valeurs des effets du fluage et du retrait et de leurs conséquences pratiques pour des ouvrages d'art identiques réalisés en béton précontraint intégral, Classe I, et en béton précontraint armé clôturera l'exposé.

II. EFFET DU FLUAGE

L'effort de traction induit dans le béton par le fluage est égal à l'effort de compression induit dans les deux armatures, active (de précontrainte) et passive (ordinaire).

Dans l'hypothèse du fluage linéaire, cet effort peut être déterminé par l'expression suivante :

$$\Delta F_f = m_f \, \sigma'_{bt} \, A_t \, \beta_f \qquad (1)$$

avec $m_f = \varphi m_i$: coefficient d'équivalence acier-béton pour la déformation différée; φ étant le coefficient du fluage et $m_i = E_a / E_b$ le coefficient d'équivalence instantané.

σ'_{bt} : contrainte de compression initiale du béton sous charges permanentes au niveau du centre de gravité des deux armatures.

A_t : aire totale des deux armatures.

$\beta_f = \dfrac{1}{1 + K_t m_f \omega_t}$: degré d'induction < 1 de l'effort de compression dû au fluage dans les deux armatures.

$K_t = 1 + \frac{e_t^2}{i^2}$ étant le coefficient d'influence de l'excentricité résultante e_t des deux armatures à ce même niveau (fig. 1), i le rayon de giration et ω_t le pourcentage géométrique total des deux armatures.

Cet effort induit peut être transféré au centre de gravité de l'armature active. Il devra alors pour conserver le même effet à la fibre extrême, être majoré par un coefficient de transfert γ qui est le rapport des coefficients d'influence des excentricités de l'armature résultante et de l'armature active, à cette fibre extrême.

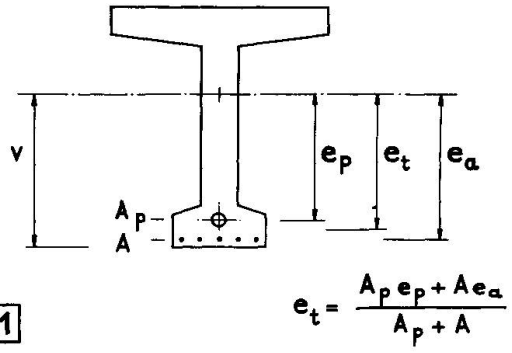

FIG.1

$$\Delta F_f \gamma = m_f \sigma'_{bt} A_t \beta_f \gamma \qquad (2)$$

$$\gamma = \frac{K_{tv}}{K_{pv}} \; ; \qquad K_{tv} = 1 + \frac{e_t v}{i^2} \; ; \qquad K_{pv} = 1 + \frac{e_p v}{i^2}$$

L'effort ainsi majoré, rapporté à la section de l'armature active A_p et à sa contrainte de traction initiale σ_{api} peut être considéré comme étant la perte de précontrainte par fluage, soit :

$$P_f = \frac{\Delta \sigma_{api}}{\sigma_{api}} = \frac{m_f \sigma'_{bt}}{\sigma_{api}} (1 + \alpha) \beta_f \gamma \qquad (3)$$

avec $\alpha = A / A_p$ rapport des aires des deux armatures.

Le premier terme du facteur $(1 + \alpha)$ est relatif à la perte directe dans l'armature de précontrainte, le deuxième terme est relatif à la perte indirecte dissipée dans l'armature passive.

Dans les cas courants des sections avec armature de précontrainte disposée au voisinage immédiat de l'armature ordinaire, le coefficient de transfert γ peut être pris égal à 1. La valeur de $m_f = \varphi m_i$ peut être prise égale à 2 x 5 = 10 pour les bons bétons.

III. EFFET DU RETRAIT

Pour les constructions post-contraintes, il faut distinguer :

1°- la phase avant la mise en précontrainte durant laquelle la présence de l'armature passive est seule à considérer.

2°- la phase après la mise en précontrainte où les deux armatures passive et active interviennent.

Ici également, l'effort de traction induit dans le béton par le retrait est égal à l'effort de compression induit dans les deux armatures active et passive.

Cet effort de compression peut être déterminé par l'expression suivante :

$$\Delta F_r = \Delta F_{r1} + \Delta F_{r2} = E_a A \varepsilon_{r1} \beta_{r1} + E_a A_t \varepsilon_{r2} \beta_{r2} \qquad (1)$$

avec ε_{r1}, ε_{r2} retraits correspondants du béton non armé et β_{r1}, β_{r2} degrés d'induction de l'effort de compression durant ces phases.

$$\varepsilon_{r1} + \varepsilon_{r2} = \varepsilon_r \quad \text{: retrait total.}$$

$$\beta_{r1} = \frac{1}{1 + K_a m_{r1} \omega_a} \quad ; \quad \beta_{r2} = \frac{1}{1 + K_t m_{r2} \omega_t}$$

$$K_a = 1 + \frac{e_a^2}{i^2} \quad ; \quad K_t = 1 + \frac{e_t^2}{i^2}$$

K_a et K_t étant les coefficients d'influence des excentricités de l'armature ordinaire et de l'armature résultante à leurs niveaux respectifs, m_{r1}, m_{r2} les coefficients d'équivalence moyens acier-béton et ω_a, ω_t les pourcentages géométriques correspondants durant ces phases.

Toutefois, vu la faible importance de l'effort de compression induit dans l'armature passive durant la première phase par rapport à l'effort induit dans les deux armatures durant la deuxième phase, on peut dans un but de simplification en cette matière, libérer le calcul de la sujétion aux deux phases, avec des valeurs de ε_{r1}, ε_{r2} m_{r1} et m_{r2} somme toutes assez aléatoires et effectuer le calcul en une phase comme si l'armature active était présente dès le début.

En procédant ainsi, on accepte un léger excès de sécurité, excès qui devient tout à fait négligeable pour la Classe III par exemple, où l'armature active est de plus en plus réduite par rapport à l'armature passive.

L'expression devient dès lors :

$$\Delta F_r = E_a A_t \varepsilon_r \beta_r \qquad (2)$$

avec $\beta_r = \dfrac{1}{1 + K_t m_r \omega_t}$: degré d'induction de l'effort de compression dû au retrait dans les deux armatures et m_r coefficient d'équivalence moyen acier-béton durant le retrait.

Cet effort de compression induit, transféré au centre de gravité de l'armature active tout en conservant le même effet à la fibre extrême et rapporté à sa section A_p et à sa contrainte de traction initiale σ_{api} peut être considéré comme la perte de précontrainte par retrait:

$$p_r = \frac{\Delta \sigma_{api}}{\sigma_{api}} = \frac{E_a \varepsilon_r}{\sigma_{api}} (1 + \alpha) \beta_r \gamma \qquad (3)$$

Ici également, comme pour le fluage, le coefficient de transfert γ peut très souvent être pris égal à 1.

La valeur de ε_r est à considérer en fonction de la composition et de la qualité du béton ainsi que du degré d'exposition à l'air. Dans les régions tempérées par exemple, ε_r est généralement de l'ordre de 0,25 mm/m pour les constructions exposées et de 0,40 mm/m pour les constructions protégées. m_r varie de 30 à 60 suivant la qualité du béton. Il est de l'ordre de 50 pour les bétons normaux.

IV. EXEMPLE D'APPLICATION

Ce calcul des pertes de précontrainte par fluage et retrait dans les constructions partiellement précontraintes, fonction de la concentration globale des deux armatures, permet de déterminer la zone du rendement optimum de la précontrainte et le choix d'une solution rationnelle.

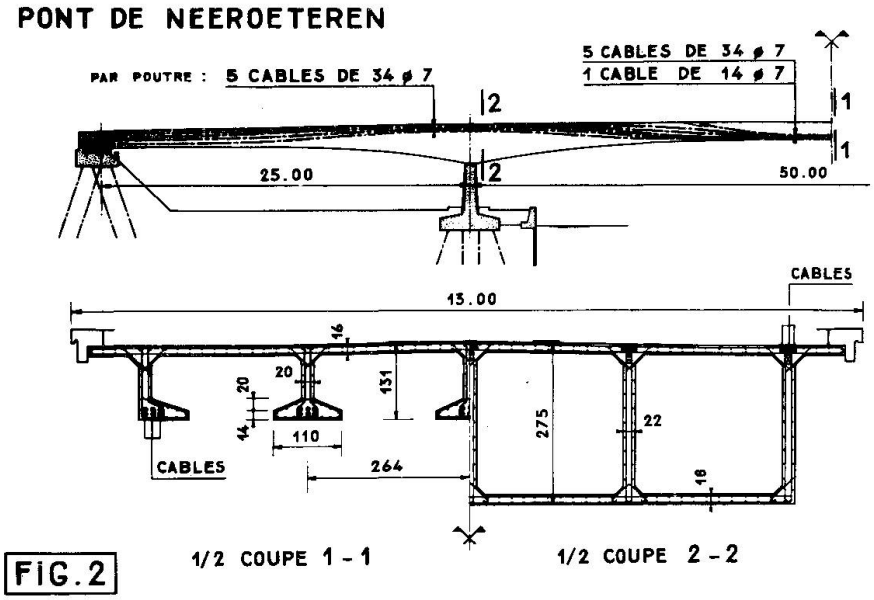

FIG.2

Nous allons l'illustrer à la lumière d'un exemple de deux ouvrages d'art identiques, réalisés l'un en béton précontraint intégral Classe I, l'autre en béton précontraint armé, conception de synthèse de la précontrainte et de l'armature répondant aux critères généraux de la Classe II.

La figure 2 montre le pont de Neeroeteren intégralement précontraint, à 3 travées continues de 50 et 2 x 25 m de longueur. Les poutres à semelle inférieure de 1 m 10 de largueur, forment caisson au voisinage des piles. La précontrainte se compose de 5 câbles de 34 Ø 7 continus plus 1 câble de 14 Ø 7 dans la section du milieu.

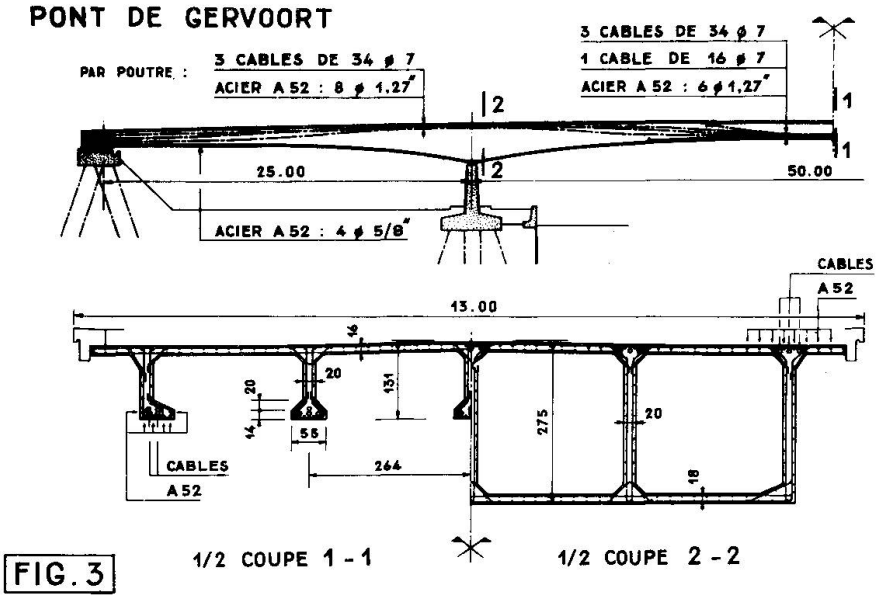

FIG.3

La figure 3 montre le pont de Gervoort partiellement précontraint de mêmes dimensions extérieures. La largeur de la semelle inférieure est de 55 cm seulement. La précontrainte se compose de 3 câbles de 34 Ø 7 continus plus 1 câble de 16 Ø 7 dans la même section, soit 36 % en moins, compensés par une armature passive de 6 Ø 1,27" A52.

L'indice de précontrainte i_{pr}, rapport de l'effort permanent de précontrainte à l'effort total des deux armatures, vaut ici 0,78 tandis que l'indice des charges permanentes i_{Mq}, rapport du moment permanent au moment total, est de 0,49 dans cette section.

La figure 4 donne le régime des contraintes dans la section.

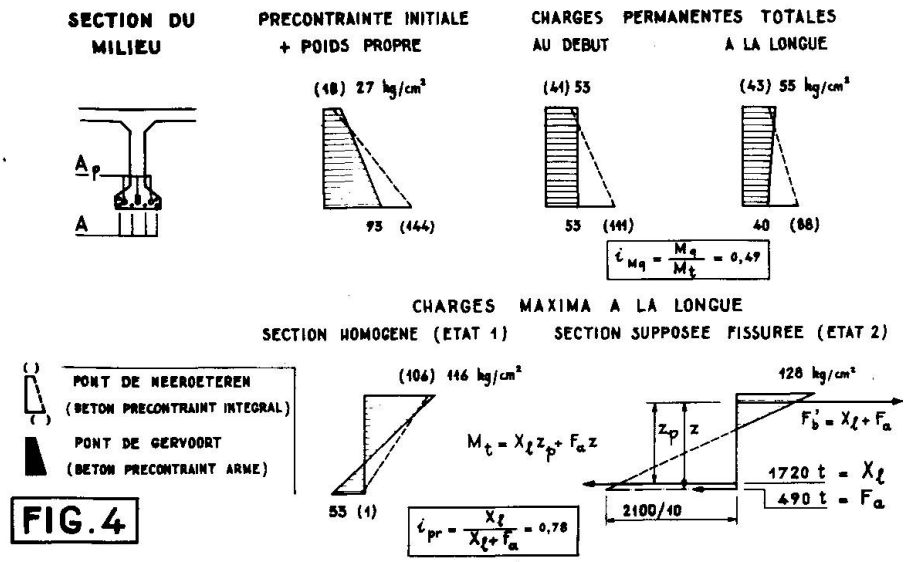

FIG.4

A la précontrainte, la compression à la fibre inférieure est de 144 kg/cm2 pour le pont intégralement précontraint contre 93 kg/cm2 pour le pont partiellement précontraint. La compression sous charges permanentes au début vaut respectivement 111 kg/cm2 et 53 kg/cm2. Elle est de 88 kg/cm2 et de 40 kg/cm2 à la longue.

Calcul des pertes de précontrainte :

Pont de Gervoort :

$B = 3{,}71\ m^2$; $I = 0{,}75\ m^4$; $V = 0{,}83\ m$; $A = 233\ cm^2$; $A_p = 227\ cm^2$ d'où $\alpha = \sim 1$.
$\omega_t = 0{,}0125$; $e_a = 0{,}76\ m$; $e_p = 0{,}72\ m$; $e_t = 0{,}74\ m$ d'où $K_t = 3{,}70$ et $\gamma = \sim 1$.
$m_f = 10$ d'où $\beta_f = 0{,}68$; $\sigma'_{bt} = 53\ kg/cm^2 = 0{,}53\ kg/mm^2$; $\sigma_{ap_i} = 85\ kg/mm^2$;
$E_a = 2 \times 10^4\ kg/mm^2$; $\varepsilon_r = 2{,}5 \times 10^{-4}$ et $m_r = 50$ d'où $\beta_r = 0{,}30$.

Soit
$$\rho_f = \frac{m_f\ \sigma'_{bt}}{\sigma_{ap_i}} (1 + \alpha)\ \beta_f\ \gamma = \frac{10 \times 0{,}53}{85} (1 + 1)\ 0{,}68 = 0{,}085$$
$$\rho_r = \frac{E_a\ \varepsilon_r}{\sigma_{ap_i}} (1 + \alpha)\ \beta_r\ \gamma = \frac{2 \times 10^4 \times 2{,}5 \times 10^{-4}}{85} (1 + 1)\ 0{,}3 = 0{,}035$$
$$\overline{0{,}120}$$

soit 12 % de perte dont 6 % de perte directe dans l'armature active et 6 % de perte dissipée dans l'armature passive.

Vu la valeur réduite de la contrainte de traction initiale σ_{ap_i} dans la section du milieu, par suite du frottement, par rapport à la résistance garantie R_g , la perte par relaxation de l'acier de précontrainte est voisine de zéro dans cette section. ($R_g = 150\ kg/mm^2$).

Pont de Neeroeteren :

$B = 4{,}15\ m^2$; $I = 0{,}95\ m^4$; $V = 0{,}74\ m$; $A_p = 354\ cm^2$; $\omega_p = 0{,}0085$; $\alpha = 0$.
$e_p = 0{,}65\ m$ d'où $K_p = 2{,}85$; $m_f = 10$ d'où $\beta_f = 0{,}80$; $\sigma_{ap_i} = 83\ kg/mm^2$;
$\sigma'_{bt} = 104\ kg/cm^2 = 1{,}04\ kg/mm^2$; $\varepsilon_r = 2{,}5 \times 10^{-4}$ et $m_r = 50$ d'où $\beta_r = 0{,}45$.

Soit
$$\rho_f = \frac{m_f\ \sigma'_{bt}}{\sigma_{ap_i}}\ \beta_f = \frac{10 \times 1{,}04}{83}\ 0{,}80 = 0{,}100$$
$$\rho_r = \frac{E_a\ \varepsilon_r}{\sigma_{ap_i}}\ \beta_r = \frac{2 \times 10^4 \times 2{,}5 \times 10^{-4}}{83}\ 0{,}45 = 0{,}027$$
$$\overline{0{,}127}$$

La figure 5 montre pour la même section la variation de la perte globale de précontrainte par fluage et retrait en fonction de la concentration totale des deux armatures et également en fonction de l'indice de précontrainte.

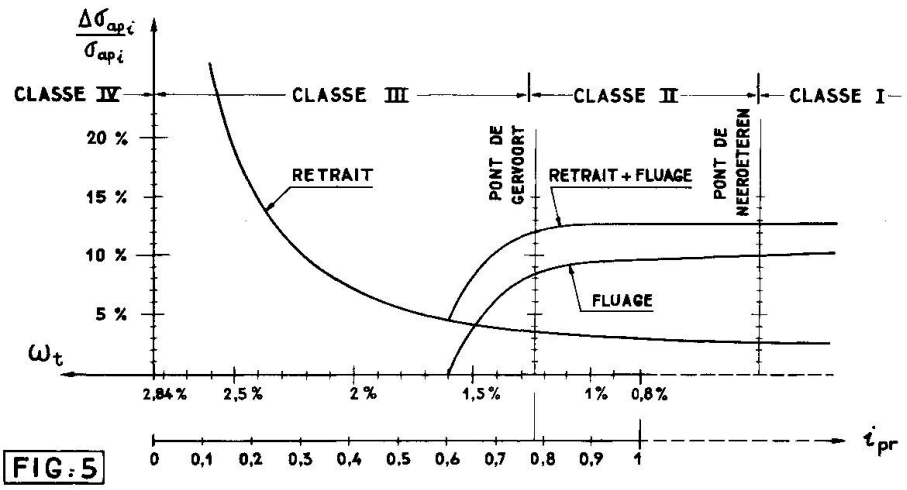

FIG. 5

On voit que la perte par fluage diminue avec i_{pr} et s'annule en Classe III pour i_{pr} = 0,6, valeur correspondante à la décompression sous charges permanentes, tandis que la perte par retrait augmente rapidement à partir de ce moment et devient considérable avec l'augmentation de la concentration des armatures en Classe III.

Le choix d'un $i_{pr} > 0,6$ pour le pont partiellement précontraint est conditionné ici par les considérations de sécurité à la fissuration sous charges totales.

Remarquons que la perte directe par fluage et retrait dans l'armature de précontrainte est moitié moindre ici que pour le pont intégralement précontraint. La perte globale qui comprend la perte dissipée dans l'armature passive est du même ordre pour les deux ouvrages.

V. CONCLUSIONS

On aperçoit ainsi tout l'intérêt d'une précontrainte et d'une armature passive modérées. Avec l'élimination des effets nuisibles du fluage et du retrait, la solution équilibrée des deux armatures entraine des conséquences toutes favorables à la sécurité durant toutes les phases de sollicitation et notamment :

1) Avant la précontrainte : sécurité à la fissuration améliorée vis-à-vis des effets du retrait, des variations atmosphériques ou des sollicitations accidentelles, grâce à la présence de l'armature passive.

2) Lors de la précontrainte : sécurité quant au danger d'une microfissuration possible du béton par compression excessive, grâce à la précontrainte modérée.

3) Sous charges permanentes : sécurité accrue par l'absence d'un fluage et des déformations différées excessives.

4) Sous charges totales : sécurité à la fissuration mieux assurée grâce aux deux armatures par suite du bon comportement sous les trois phases précédentes et également en cas d'un léger dépassement des surcharges ou en cas de pertes de précontrainte ou de frottement des câbles supérieures aux prévisions.

BIBLIOGRAPHIE

S. CHAIKES :

Le béton précontraint armé.
IVème Congrès de la F.I.P. Rome 1962, Volumes 1 et 2.

Le béton partiellement précontraint,
Etude théorique, essais et réalisations.
Annales des Travaux Publics de Belgique, n° 2 - 1966.

Le béton précontraint armé,
Evolution dans la conception des structures précontraintes.
VIIIème Congrès de l'A.I.P.C. New-York 1968.

Ouvrages d'art remarquables en béton précontraint armé.
Annales des Travaux Publics de Belgique, n° 3 - 1969/70.

Comparaison d'ouvrages d'art identiques réalisés en béton précontraint intégral et en béton précontraint armé.
Contribution au VIème Congrès de la F.I.P. Prague 1970.

RESUME

L'auteur détermine l'effet du fluage et du retrait dans les constructions en béton partiellement précontraint à partir de la valeur de la compression induite par ces phénomènes dans l'armature de précontrainte et dans l'armature ordinaire.

Le calcul des pertes globales de précontrainte qui en résultent permet ensuite, à la lumière d'un exemple numérique d'ouvrages d'art réalisés, de déterminer la zone du rendement optimum de la précontrainte et le choix d'une solution rationnelle.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Autor bestimmt die Auswirkung der Kriech- und Schwindeerscheinungen in Bauten aus teilweise vorgespanntem Beton auf der Grundlage des Kompressionswertes, der durch diese Erscheinung in der Vorspannbewehrung und in der normalen Bewehrung verursacht wird.

Die Berechnung der sich daraus ergebenden totalen Vorspannverluste erlaubt dann, mit Hilfe eines Zahlenbeispiels von bereits ausgeführten Bauten, die optimale Vorspannzone und die Wahl einer rationellen Lösung zu bestimmen.

SUMMARY

The author determines the effect of shrinkage and creep in partially prestressed concrete on the basis of the compression induced by these phenomena in the prestressing steel and in the ordinary reinforcement.

The calculation of the resulting total loss of prestress is then used, with the help of a numerical example from a completed structure, to determine the optimum efficiency range of prestress and the choice of a rational solution.